

**NASKAH PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH**

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH JUMLAH SUDU  
TERHADAP KERJA TURBIN ANGIN HORISONTAL  
BERBASIS NACA 4415**



**Disusun Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana S- 1  
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta**

**Disusun oleh:  
THORIQ MUSTAQIM  
NIM : D 200 110 124**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2016**

## HALAMAN PENGESAHAN

Naskah Publikasi Tugas Akhir yang Berjudul "STUDI EKSPERIMEN PENGARUH JUMLAH SUDU TERHADAP KERJA TURBIN ANGIN HORIZONTAL BERBASIS NACA 4415" telah disetujui pembimbing dan disahkan ketua jurusan sebagai syarat untuk memperoleh gelar S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan oleh :

Nama : THORIQ MUSTAQIM

NIM : D200110124

Disetujui pada :

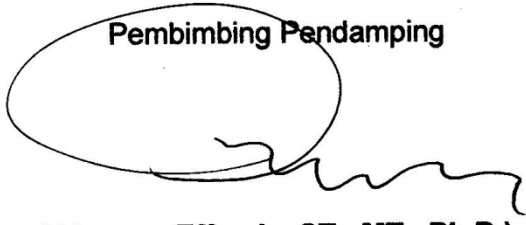
Hari : Rabu

Tanggal : 17 Februari 2016

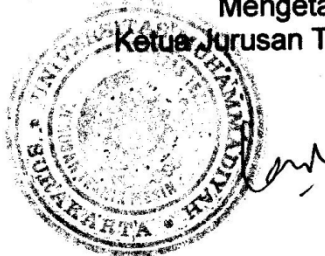
Pembimbing Utama

  
( Nur Aklis ST., M.Eng )

Pembimbing Pendamping

  
( Marwan Effendy, ST., MT., Ph.D )

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin



( Tri Widodo Besar Riyadi, ST., MSc., Ph.D )

# **STUDI EKSPERIMEN PENGARUH JUMLAH SUDU TERHADAP KERJA TURBIN ANGIN HORIZONTAL BERBASIS NACA 4415**

Thoriq Mustaqim, Nur Aklis dan Marwan Effendy  
Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta  
JL. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Kartasura  
Email : [thoriqmustaqim99@gmail.com](mailto:thoriqmustaqim99@gmail.com)

## **ABSTRAK**

*Pemanfaatan sumber energi angin merupakan upaya untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Untuk kepentingan itu sistem konversi angin menjadi energi listrik sangat diperlukan. Oleh karena itu, dalam laporan ini akan dibahas sistem turbin angin poros horizontal dengan variasi jumlah sudu ( 3, 4 dan 5 sudu ), yang berbasis NACA 4415.*

*Pengujian dilakukan di pantai Pandansimo, Yogyakarta. Pengujian diawali dengan merakit semua komponen turbin angin yang terdiri dari menara, yaw drive, ekor pengarah dan sudu turbin. Komponen sudu turbin angin terbuat dari plat besi dengan tebal 2 mm dan berdiameter 2,85 m. Untuk pengambilan data digunakan alat ukur seperti anemometer, tachometer digital, dan data logger. Anemometer dipasang pada ketinggian yang sama dengan ketinggian turbin angin. Parameter dalam pengujian ini meliputi kecepatan sudu tanpa beban dan dengan beban. mengukur arus, tegangan, daya dan energi listrik, yang dihasilkan.*

*Hasil pengujian menunjukkan bahwa, kecepatan angin mempengaruhi putaran turbin angin. Semakin tinggi kecepatan angin semakin tinggi putaran turbin angin. Pengujian tanpa beban dengan variasi 3 sudu menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi 4 dan 5 sudu. Sementara, pengujian dengan beban pada variasi 5 sudu menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan pada variasi yang lain. Kontruksi turbin angin dengan variasi 5 sudu menghasilkan koefisien daya yang tinggi, hingga mencapai dua kali dari variasi 3 dan 4 sudu.*

Kata Kunci : Turbin angin, jumlah sudu, koefisien daya

# **Effect of blade number on the performance of horizontal wind turbine with NACA 4415**

Thoriq Mustaqim, Nur Aklis and Marwan Effendy  
Department of Mechanical Engineering,  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
JL. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Kartasura  
Email : [thoriqmustaqim99@gmail.com](mailto:thoriqmustaqim99@gmail.com)

## **ABSTRACT**

*The use of wind energy is an effort to comply the electricity needs. Therefore, the conversion system of wind into electrical energy is very important to support it. This research discusses the system of horizontal axis wind turbine with various blades number (3, 4 and 5) referring to NACA 4415.*

*This experiment has been performed in Pandansimo beach, Yogyakarta. The research was started by assembling all components of wind turbines such as tower, yaw drive, steering head and turbine blades. Blade components were made by iron plate with a thickness of 2 mm and diameter of 2.85 m. Data was collected by measured tool such as anemometer, digital tachometer and data logger. The anemometer was installed at the same height of wind turbine. Performance of wind turbine with-and-without load was investigated by measuring current, voltage, and power.*

*The results show that, the wind speed affects the rotation of wind turbines. The higher wind speed the higher round wind turbines. Investigation of wind turbine without load generates the highest level of power when using 3 blades configuration. Whilst, the highest level of power for wind turbine with load can be achieved using 5 blades configuration. Besides, the construction of wind turbines with 5 blades also produces the highest power coefficient up to twice that of two other blade variations.*

**Key words:** *Wind turbine, Blade number, Power coefficient*

## PENDAHULUAN

Energi listrik menjadi sebuah kebutuhan utama yang digunakan oleh manusia. Secara nasional kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan penduduk, akan tetapi laju kebutuhan energi yang sangat cepat tersebut tidak diimbangi dengan produksi riil sektor energi. Saat ini energi nasional masih terfokus kepada energi fosil yaitu batubara, minyak bumi, dan gas bumi. Dengan meningkatnya penggunaan energi tersebut, terutama minyak bumi, maka di masa yang akan datang jumlahnya pun semakin terbatas, cadangan energi fosil akan berkurang dan tidak akan dapat di andalkan untuk mencukupi kebutuhan energi, karena sifatnya tidak terbarukan menuntut untuk segera mengeksplorasi sumber energi terbarukan. Selain itu, alasan lainnya adalah untuk mengurangi polusi yang ditimbulkan dari pemakaian bahan bakar minyak, karena sumber polusi terbesar di dunia berasal dari gas buang atau emisi bahan bakar minyak, maka dibutuhkan sebuah solusi untuk mengatasi masalah tersebut, terarah pada energi alternatif yang cukup ketersediaannya di bumi dan dapat diharapkan kelanjutannya.

Potensi energi non fosil, seperti tenaga surya, panas bumi, tenaga air, biomassa, dan tenaga angin, di Indonesia cukup melimpah, pemanfaatan energi angin merupakan hal yang populer, penguasaan teknologi tentang konversi energi angin juga diperlukan, di butuhkan sebuah teknologi yang bekerja mengkonversi energi angin menjadi energi listrik, salah satunya menggunakan turbin angin sebagai pembangkit listrik alternatif melalui sistim konversi tenaga angin (SKEA).

Energi kinetik yang dihasilkan angin kemudian memutarakan sudu yang dirancang agar dapat menghasilkan kecepatan putaran, kemudian dari putaran tersebut di teruskan oleh transmisi atau

dengan sebuah mekanisme tertentu menuju ke generator yang menghasilkan listrik.

Desain sudu yang banyak digunakan yaitu beberapa tipe dari NACA ( *National Advisory Committe for Aeronautics* ) seperti 4412, 4415, 4418, dengan memvariasikan jumlah sudu diantaranya *single blade*, *two blade*, *three blade* dan *multi blade*, maka dalam penulisan tugas ahir ini memilih turbin angin dengan poros horisontal menggunakan NACA 4415 sebagai basis dalam pembuatan sudu turbin angin, dan membuat variasi jumlah sudu yaitu tiga sudu, empat sudu dan lima sudu.

NACA 4415 dipilih karena mempunyai beberapa keunggulan, yaitu dikenal sebagai *airfoil* yang ramping dan kekuatan koefisien rata-ratanya lebih tinggi dari pada sudu lainnya sehingga sesuai untuk dioperasikan pada kecepatan tinggi, serta mempunyai fakta bahwa *airfoil* ini menunjukkan sifat yang baik untuk sudu turbin angin kecil, ( Ozgener, 2005 ), disamping faktor pemilihan *airfoil* sebagai basis dalam pembuatan turbin angin, faktor lain yang mempengaruhi kinerja turbin angin agar mendapatkan koefisien daya yang maksimal adalah dengan membuat variasi jumlah sudu.

## RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana membuat sebuah sistim turbin angin yang dapat menghasilkan energi maksimum, dengan variasi jumlah sudu ?
2. Bagaimana pengaruh jumlah sudu terhadap putaran yang dihasilkan turbin angin berbasis NACA 4415 ?

## BATASAN MASALAH

Pada penelitian ini banyak yang harus diperhatikan, maka dari itu perlu dibuat batasan-batasan yaitu :

1. Perhitungan *bearing*, *hub*, poros dan kontruksi, seperti menara, *yaw drive*, dan ekor pengarah tidak dibahas atau diabaikan, pada penelitian ini lebih difokuskan pada pembuatan sudu turbin angin.
2. Tempat pengujian dilakukan di pesisir pantai pandansimo, bantul, Yogyakarta.

## TUJUAN PENELITIAN

1. Membuat turbin angin dengan variasi jumlah sudu pada pengujian tanpa beban dan beban.
2. Mengetahui pengaruh jumlah sudu terhadap daya yang dihasilkan pada berbagai kecepatan angin.
3. Mengetahui koefisien daya yang dihasilkan turbin angin berbasis NACA 4415 dengan variasi jumlah sudu.

## TINJAUAN PUSTAKA

Pengujian turbin angin dengan modifikasi standar NACA 4415 pernah dilakukan oleh Sudarsono (2013), pengujian menggunakan turbin angin sumbu horisontal dengan jumlah 3 sudu dan berdiameter 1,5 meter serta berbahan kayu sengon laut, hasil pengujiannya didapatkan hasil bahwa daya output 50 Watt - 240 watt pada interval kecepatan angin rata-rata di Indonesia 3 m/s sampai 5 m/s. Rotor turbin mempunyai torsi 25 Nm - 75 Nm, sehingga rotor turbin mempunyai koefisien daya  $C_p$  0,35 - 0,40 pada interval kecepatan angin rata-rata di Indonesia 3 m/s - 5 m/s.

Turbin angin sumbu horisontal dengan jumlah 3 sudu berdiameter 2 meter dengan NACA 4415, menghasilkan tegangan maksimum pada kondisi tanpa

pembebanan adalah sebesar 0,6 Volt pada kecepatan angin 3,5 m/s. Daya maksimum yang dihasilkan pada kondisi pembebanan adalah sebesar 0,06 Watt pada kecepatan angin sebesar 3-4 m/s dengan tegangan maksimum rata-rata sebesar 0,3 Volt. Hasil ini masih sangat jauh jika dibandingkan dengan daya maksimum yang dapat diekstrak rotor untuk kecepatan angin 3-4 m/s sebesar 29-70 Watt. Torsi yang rendah serta berubah-ubahnya arah dan kecepatan angin merupakan penyebab utama kecilnya daya yang dihasilkan. (Irawan, 2009).

Ozgener (2005) dalam penelitiannya menggunakan profil NACA 4415 sebagai turbin angin dan didapatkan tingkat rotasi hingga 2722 rpm dan tenaga hingga 0,275 pada tingkat kecepatan angin berkisar antara 5,4 dan 10,5 ms.

Silalahi, dkk (2014) dalam penelitiannya menggunakan *prototype* turbin angin Venturi berbahan aluminium, variasi jumlah *blade* (3 *blade*, 4 *blade*, 5 *blade* dan 6 *blade*) dan variasi kecepatan angin 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, dan 5 m/s dengan sudut 30° dan 45°, hasilnya, putaran poros tertinggi adalah pada variasi 3 blade dengan sudut 30° yaitu 320 rpm saat angin 5 m/s, dan pada sudut 45°, putaran poros tertinggi pada variasi 3 blade mencapai 385 rpm saat angin 5 m/s.

## LANDASAN TEORI

### Definisi dan jenis turbin angin

Turbin angin merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik menjadi energi gerak, dimana energi penggerakannya berasal dari angin. Energi gerak selanjutnya diteruskan berupa putaran sudu dan poros generator sehingga menghasilkan energi listrik. Berdasarkan arah sumbu rotasi rotor turbin angin digolongkan menjadi 2 yaitu,

*Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)*, Turbin angin sumbu horisontal, atau biasa dikenal juga dengan sebutan turbin angin aksial, memiliki poros putar yang selalu searah dengan arah angin yang datang dan generator yang terletak diujung menara, sebagian menambahkan sebuah *gearbox* yang mengubah putaran turbin menjadi lebih cepat ketika berputar.

Kelebihan dari turbin angin sumbu horisontal secara umum adalah memiliki koefisien daya yang relatif tinggi, dan tidak terjadi masalah yang berkaitan dengan getaran. Kelemahannya adalah karena model turbin angin ini biasa divariasi dengan jumlah sudu, maka pada jumlah tertentu terutama *single blade* perlu *balancing* yang akurat.

#### *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*

Turbin angin sumbu vertikal adalah jenis turbin angin yang pertama dibuat manusia. Turbin angin sumbu vertikal modern menerapkan bentuk yang aerodinamis pada rotornya tegak lurus untuk menghasilkan momen gaya sehingga memberikan keuntungan yang lebih dalam menangkap energi angin. Keunggulan dari turbin angin model vertikal ini adalah mempunyai desain menara yang sederhana dan ekonomis, dapat di terapkan pada daerah-daerah yang memiliki kecepatan angin yang bervariasi dan memanfaatkan angin dari berbagai arah, sehingga tidak memerlukan mekanisme *control yaw*.

Turbin angin vertikal memiliki kecepatan angin awal lebih rendah dari pada turbin angin horisontal, sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak di saat angin berhembus sangat kencang. Namun turbin angin sumbu vertical memiliki beberapa kelemahan yaitu produksi energinya hanya 50% dari efisiensi turbin angin sumbu horisontal karena mempunyai *drag* tambahan yang dimilikinya saat turbin angin beroperasi. Karena dipasang lebih dekat dengan

dasar turbin diletakkan, seperti tanah atau puncak sebuah bangunan maka aliran angin akan bergejolak sehingga akan memunculkan masalah yang berkaitan dengan getaran.

#### Daya angin

$$P = \frac{1}{2} \rho_a A_T v^3 \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

$P$  = daya yang dihasilkan angin ( j/s ) ( watt )

$V$  = kecepatan angin ( m/s )

$\rho_a$  = massa jenis udara (1,2 kg/ m<sup>3</sup>)

$A_T$  = luas penampang sapuan sudu (  $\pi \cdot r^2 = m^2$  )

#### Daya listrik

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

$P$  = Daya (watt)

$V$  = Tegangan (v)

$I$  = Arus (A)

#### Koefisien daya

Koefisien daya adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan turbin angin dengan daya angin melalui penampang rotor.

$$C_p = \frac{Power}{0,5 \rho U^3 \infty A_D} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

$C_P$  = Koefisien daya ( *power coefficient* )

$U_{\infty}$  = Kecepatan angin ( m/s )

$A_D$  = Luas penampang sapuan sudu (  $\pi \cdot r^2 = m^2$  )

$\rho$  = massa jenis udara (1,2 kg/ m<sup>3</sup>)

#### Energi listrik

Energi listrik adalah kapasitas untuk melakukan kerja yang berhubungan dengan listrik dengan satuan watt.jam

(1) Sathyajith Mathew, 2006, *wind energy fundamentals, resource and analysis and economics*, Wurzburg, Netherlands, hal 11L. L. Freris., 1990, *wind energy conversion systems*, U.K, hal 190  
 (2) L.L. Freris, 1990, *wind energy conversion systems*, U.K, hal 190  
 (3) ibid, hal 56

$$E = P t \dots\dots\dots (4)$$

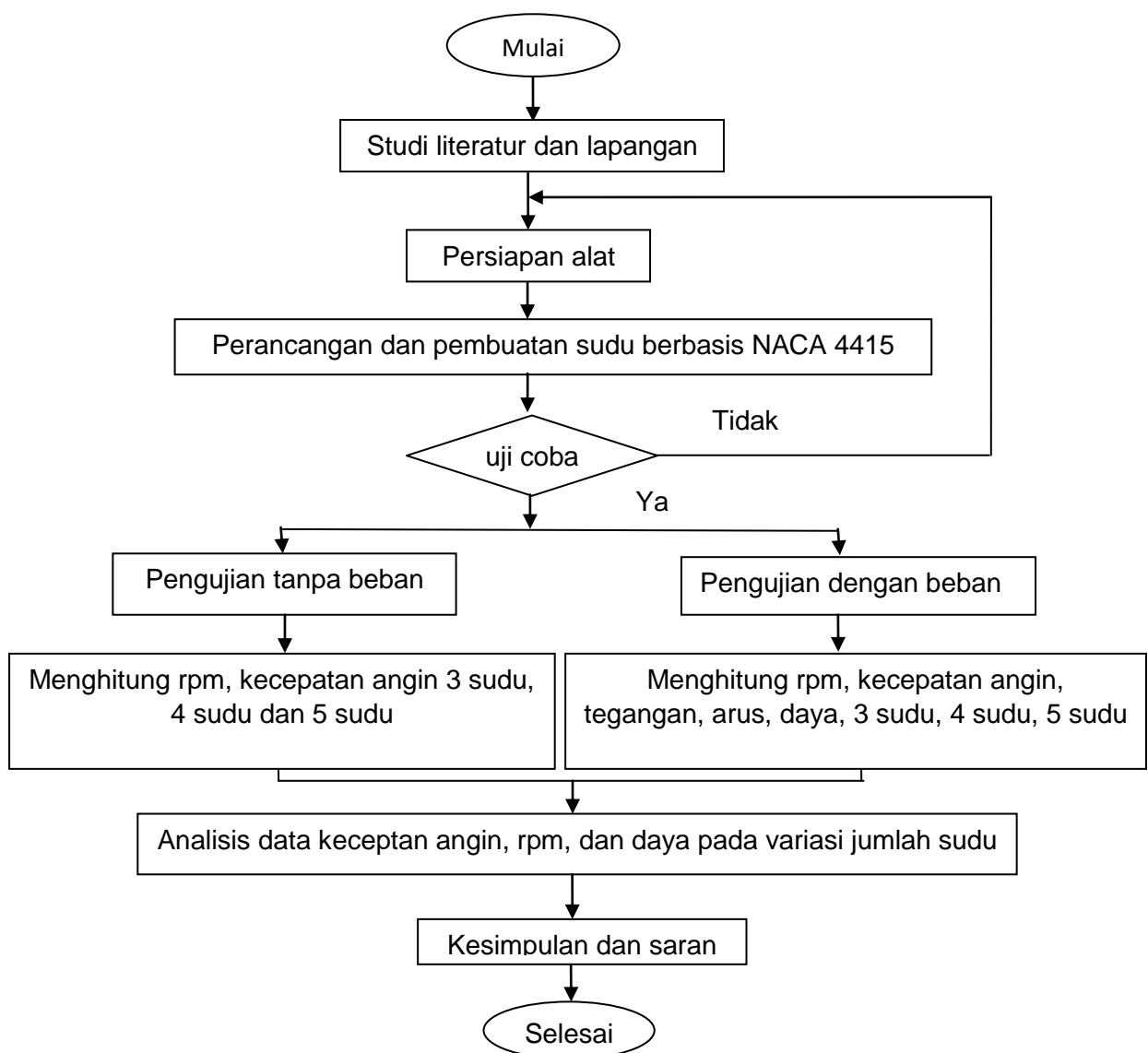
$P = \text{Daya ( watt)}$   
 $t = \text{Waktu ( jam )}$

Dimana :

## METODOLOGI PENELITIAN

### Diagram alir penelitian

Tahapan dalam penelitian ini akan dijelaskan melalui sebuah diagram alir yang menggambarkan perencanaan dan pengujian berdasarkan urutan prosesnya.



**Gambar 1. Diagram alir penelitian**



## Tahapan perancangan desain dan pembuatan turbin angin :

1. Menentukan diameter rotor dan desain sudu.
2. Menentukan jenis airfoil.
3. Menghitung daya maksimum keluaran dari rotor pada berbagai kecepatan angin.
4. Merancang *yaw drive*, dan ekor pengarah.

## Alat yang digunakan

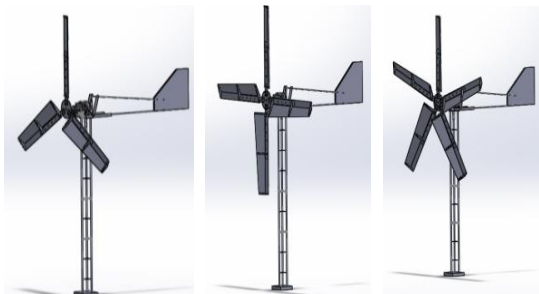
### Alat untuk pembuatan turbin angin :

1. Mesin *Shering*
2. Mesin *Bending*
3. Mesin *frais*
4. Bor
5. Gerinda
6. Las listrik
7. Gergaji
8. Penggaris

### Alat untuk pengujian turbin angin

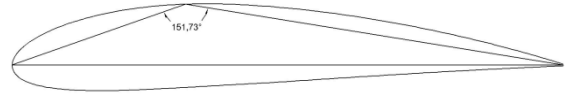
1. Anemometer
2. Tachometer
3. Generator
4. Data logger
5. Baterai dan perlengkapan lainnya seperti tool box.

## Perancangan turbin angin

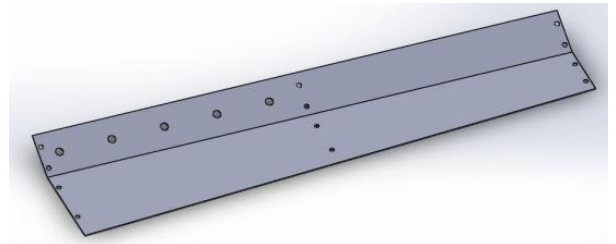


**Gambar 2. Desain turbin Desain Profil sudu**

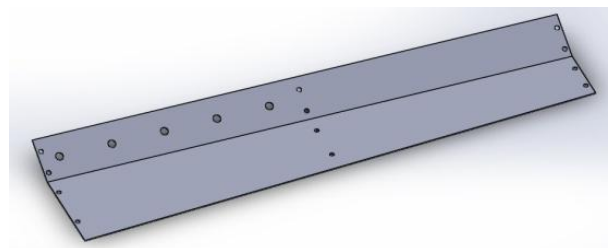
## Desain Profil Sudu



**Gambar 3. Profil NACA 4415**



**Gambar 4. Sudu berbasis NACA 4415**



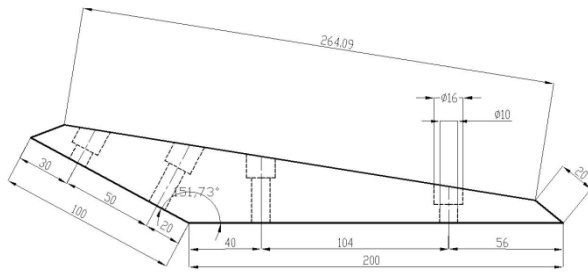
**Gambar 4. Sudu berbasis NACA 4415**



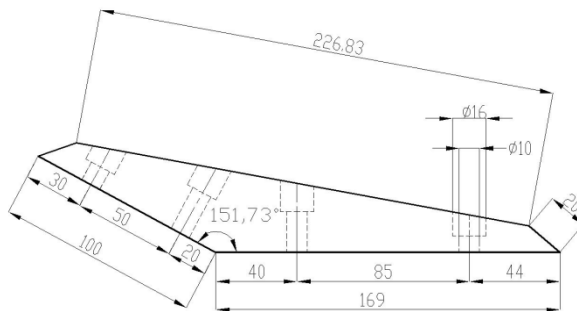
**Gambar 5. Batang sudu**



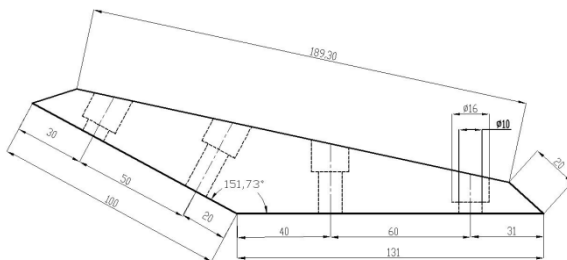
**Gambar 6. Sudu berbasis NACA 4415**



**Gambar 7. Penampang profil 1**



**Gambar 8. Penampang profil 2**



**Gambar 9. Penampang profil 3**



**Gambar 10. Profil berbasis NACA 4415**



**Gambar 11. Hub 3 sudu**



**Gambar 12. Hub 4 sudu**



**Gambar 13. Hub 5 sudu**



**Gambar 14. yaw drive**



**Gambar 15. Ekor pengarah**

### Proses pembuatan turbin angin

Proses pembuatan turbin angin sebagian besar dilakukan dilaboratorium, dan beberapa komponen dikerjakan diluar laboratorium. Berikut tahapan dalam pembuatan turbin angin :

1. Membuat desain menggunakan solidwork, dan autocad seperti gambar 3.
2. Proses pembuatan sudu turbin menggunakan plat besi dengan ketebalan 2 mm, setelah dipotong, proses selanjutnya adalah *drilling*, dan di *bending*, dengan sudut  $151,73^\circ$ , seperti pada gambar 4.
3. Membuat batang sudu yang terbuat dari plat besi dengan ketebalan 4 mm, panjang 800 mm, gambar 5.
4. Setelah komponen pada bagian sudu selesai dibuat, selanjutnya adalah merakit semua komponen sudu, dan hasilnya seperti pada gambar 6.
5. Membuat profil yang terdiri dari tiga bagian seperti pada gambar 7, gambar 8, dan gambar 9, selanjutnya membuat benda yang sesuai dengan desain, yang berbahan dari kayu, dan bentuk dari benda tersebut seperti pada gambar 10.
6. Membuat *hub* dengan bahan plat besi dengan ketebalan 8 mm, seperti pada

gambar 11, gambar 12, dan gambar 13.

7. Membuat *yaw drive* seperti pada gambar 14.
8. Membuat ekor pengarah seperti gambar 15.
9. Rancangan turbin angin pada gambar 2, dan hasilnya pada gambar 16, gambar 17, dan gambar 18.



**Gambar 16. Turbin angin 3 sudu**



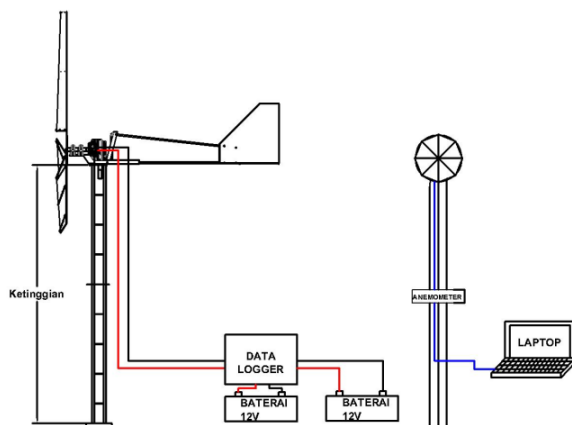
**Gambar 17. Turbin angin 4 sudu**



**Gambar 18. Turbin angin 5 sudu**

### Proses pengujian turbin angin

Lokasi pengujian dilakukan dipantai pandansimo bantul Yogyakarta.

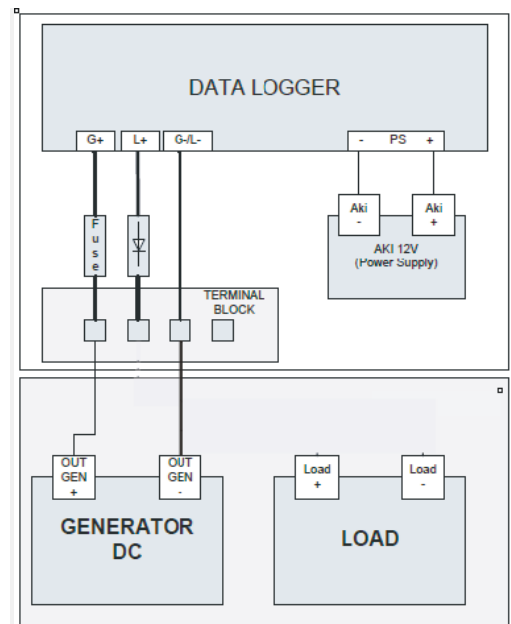


**Gambar 19. Instalasi turbin angin**

1. Mempersiapkan peralatan yang akan digunakan, seperti kunci-kunci, tali pengikat menara dan komponen yang akan digunakan pada pengujian turbin angin.
2. Setelah alat-alat sudah disiapkan selanjutnya adalah merakit anemometer dengan ketinggian 8000 mm, pemasangan disejajarkan dengan ketinggian tower turbin angin, dan kabel dihubungkan dengan laptop sehingga pada layar laptop muncul kecepatan angin, gambar 19.
3. Merakit tower atau menara Menara turbin angin terdiri dari dua bagian yaitu masing-masing dengan panjang

4000 mm menjadi satu bagian menjadi 8000 mm, kemudian memasang menara pada pondasi yang akan ditimbun dengan pasir, gambar 16.

4. Langkah selanjutnya adalah merakit *yaw drive*, gambar 14.
5. Merakit sudu turbin angin variasi 3 sudu, gambar 16.
6. Selanjutnya menyambungkan kabel output dari generator menuju ke data logger, gambar 20.



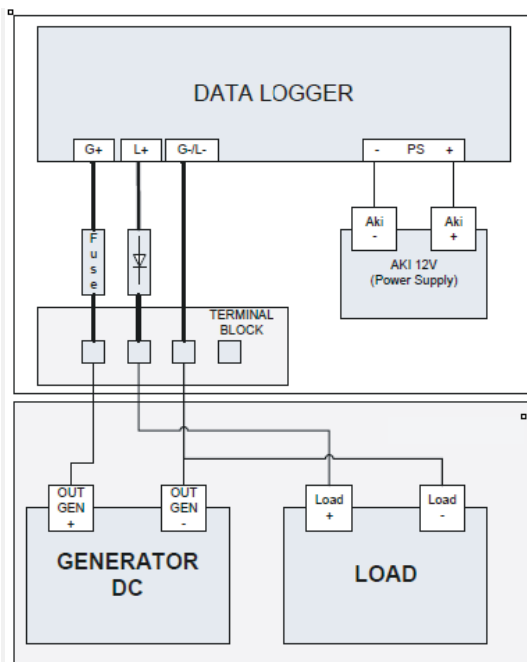
**Gambar 20. Skema data logger tanpa beban**

Pada gambar 20, adalah pengujian tanpa beban output kabel dari generator yang melewati data logger tidak dihubungkan ke beban atau baterai, oleh karena itu putaran turbin tanpa beban akan lebih tinggi jika dibandingkan dengan putaran dengan beban, dikarenakan generator tidak bekerja untuk melakukan pengisian pada baterai.

Pada pengujian dengan beban, cara untuk menyalakan data logger dibutuhkan sumber energi dari baterai 12v, setelah menyala, output ( + ) dari generator menuju ke terminal ( G+ ) melewati *fuse* atau pengaman pada data logger, sedangkan ( - ) dari generator menuju ke ( G-/L ) pada data logger, dari data logger.

Output dari data logger kemudian menuju ke beban, beban yang digunakan adalah baterai 12 v, selanjutnya kabel dari terminal box yang telah melewati dioda menuju ke ( + ) pada load atau beban sedangkan ( G-/L ) pada data logger juga dihubungkan menuju ke (-) pada load atau beban, maka ketika turbin angin berputar pada layar data logger akan menampilkan energi, daya, tegangan dan arus yang dihasilkan generator, gambar 21.

7. Saat turbin angin mulai beroperasi langkah selanjutnya adalah pengukuran kecepatan dari turbin angin tersebut, pengukuran dilakukan menggunakan tachometer digital, yaitu dengan cara menyorotkan lampu laser pada kertas pemantul cahaya yang telah ditempelkan pada poros generator. Pengukuran ini dilakukan pada saat tanpa beban dan dengan beban interval waktu per 15 menit.



**Gambar. 21. Skema data logger dengan beban**

8. Langkah pengujian tersebut juga dilakukan pada pengujian variasi 4 sudu, gambar 17, dan variasi 5 sudu gambar 18.

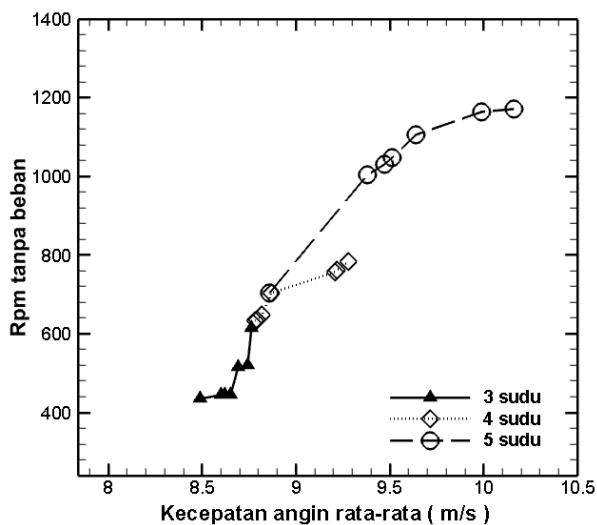
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah proses pengujian turbin angin, maka didapatkan data pengujian yang selanjutnya dijelaskan melalui sebuah tabel dan grafik.

**Tabel 1. Data hasil pengujian variasi jumlah sudu**

	Kecepatan angin rata-rata ( m/s)	Putaran turbin dengan beban ( rpm)	Putaran turbin tanpa beban (rpm)	Daya listrik (watt)	Daya angin ( watt )	CP
3 SUDU	8.49	307.9	435.5	12.2	2341.17403	0.005211
	8.6	347.2	444.1	17.2	2433.357849	0.007068
	8.62	353.9	444.9	17.3	2450.374276	0.00706
	8.65	362.4	445.7	19.5	2476.047373	0.007875
	8.69	365.6	516.2	22.3	2510.556251	0.008882
	8.74	368.3	520.7	23.3	2554.141332	0.009122
	8.76	415.7	613.2	23.6	2571.715638	0.009177
	Rata-rata					0.007771
4 SUDU	8.78	422.5	633.6	15.1	2589.370375	0.005832
	8.79	430.4	636.3	15.3	2598.227962	0.005889
	8.82	498	647.6	22	2624.921878	0.008381
	8.87	523.5	703.2	22.9	2669.816954	0.008577
	9.21	556.3	757.5	23.1	2988.749509	0.007729
	9.22	628.4	762.1	26.6	2998.495423	0.008871
	9.28	664.3	783.2	28.8	3057.416154	0.00942
	Rata-rata					0.007814
5 SUDU	8.86	522.4	702.9	25	2660.79731	0.0094
	9.38	697	1005.1	26.3	3157.323938	0.0083
	9.47	913	1031.9	27.7	3249.081192	0.0085
	9.51	975.1	1048.8	29.3	3290.426377	0.0089
	9.64	993.3	1106.8	30.7	3427.21799	0.009
	9.99	1089	1163.8	31.1	3814.231881	0.0082
	10.16	1090.7	1172.6	31.2	4012.284786	0.0078
	Rata-rata					0.0086

## Pengujian tanpa beban



**Gambar 22. Kecepatan angin rata-rata dengan Rpm tanpa beban pada variasi jumlah sudu**

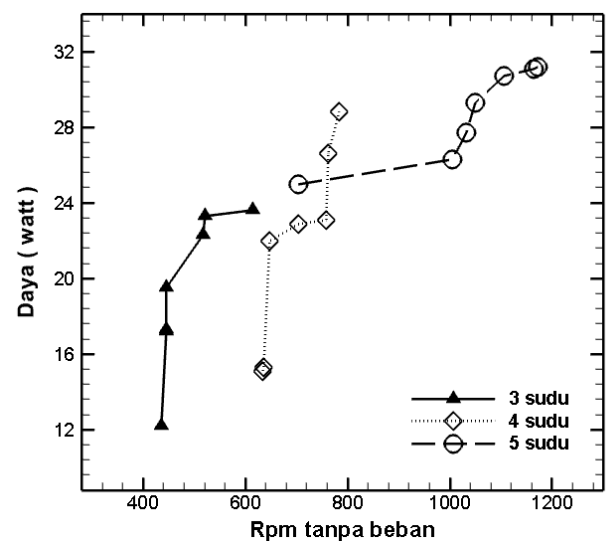
## PEMBAHASAN

Dari gambar 22, variasi 3 sudu menghasilkan putaran sebesar 435,5 rpm saat kecepatan angin rata-rata 8,49 m/s. Putaran mencapai 613,2 rpm, pada kecepatan angin rata-rata 8,76 m/s. Pada variasi 4 sudu menghasilkan putaran sebesar 633,6 rpm, saat kecepatan angin rata-rata 8,78 m/s, dan putaran sebesar 783,2 rpm, saat kecepatan angin rata-rata 9,28 m/s, pada variasi 5 sudu, diperoleh putaran sebesar 702,9 rpm, saat kecepatan angin rata-rata 8,86 m/s. Putaran sebesar 1172,6 rpm saat kecepatan angin rata-rata 10,16 m/s. Pengujian turbin angin tanpa beban, didapatkan bahwa kecepatan angin dari 8,49 m/s – 8,87 m/s, pada variasi 3, 4, dan 5 sudu, ternyata variasi 4 sudu lebih unggul, karena kecepatan angin yang tinggi menghasilkan rpm yang lebih tinggi pula, yaitu sebesar 703,2 rpm.

### Putaran turbin tanpa beban dengan daya

Dari gambar 23, variasi 3 sudu, putaran turbin 435,5 rpm menghasilkan daya 12,2 watt, dan pada putaran 613,2 rpm menghasilkan daya 23,6 watt. Pada

variasi 4 sudu, saat putaran turbin 633,6 rpm menghasilkan daya 15,1 watt, dan pada saat putaran turbin 783,2 rpm menghasilkan daya 28,8 watt, pada variasi 5 sudu putaran turbin 702,9 rpm menghasilkan daya 25 watt, dan saat putaran turbin 1172,6 rpm menghasilkan daya sebesar 31,2 watt. Dari putaran 415,7 rpm – 498 rpm pada variasi 3 dan 4 sudu, ternyata variasi 3 sudu lebih unggul, karena dengan rpm yang rendah menghasilkan daya yang lebih tinggi, yaitu sebesar 23,6 watt.



**Gambar 23. Rpm tanpa beban dengan daya pada variasi jumlah sudu**

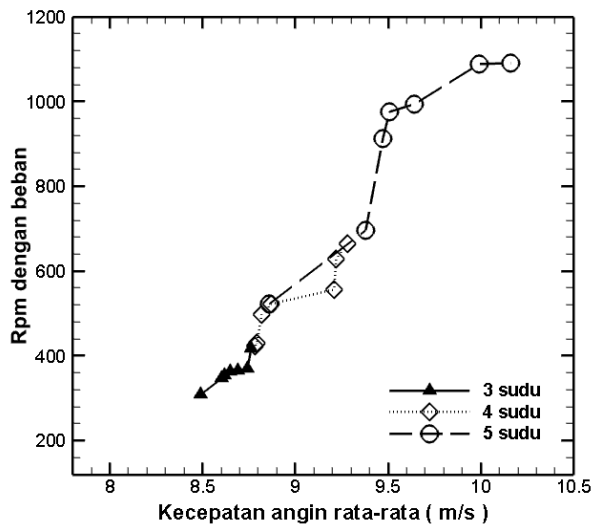
## Pengujian dengan beban

Pada gambar 24, variasi 3 sudu dengan beban, putaran turbin 307,9 rpm saat kecepatan anginn rata-rata 8,49 m/s, dan putaran turbin 415,7 rpm saat kecepatan angin rata-rata 8,76 m/s. Pada variasi 4 sudu, putaran turbin 422,5 rpm saat kecepatan anginn rata-rata 8,78 m/s, dan putaran turbin 664,3 rpm saat kecepatan angin rata-rata 9,28 m/s, kemudian pada variasi 5 sudu putaran turbin 522,4 rpm saat kecepatan angin rata-rata 8,86 m/s, dan putaran turbin 1090,7 rpm saat kecepatan angin rata-rata 10,16 m/s.

Pengujian turbin angin dengan beban, didapatkan bahwa kecepatan



angin dari 8,49 m/s – 8,87 m/s, pada variasi 3, 4, dan 5 sudu, ternyata variasi 4 sudu lebih unggul, karena kecepatan angin yang tinggi menghasilkan rpm yang lebih tinggi pula, yaitu sebesar 523,5 rpm.

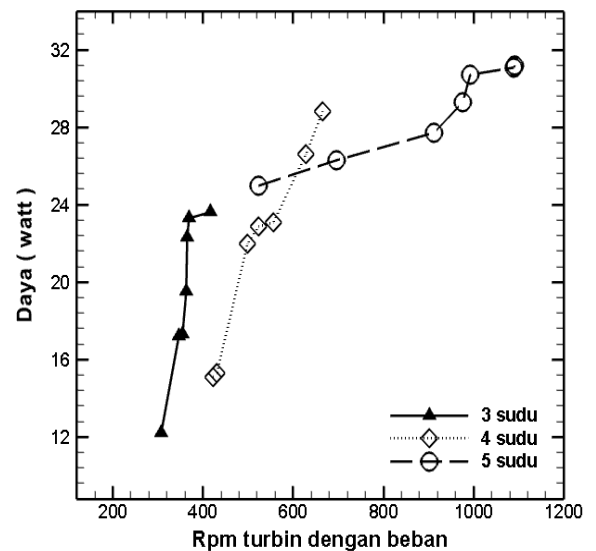


**Gambar 24. Kecepatan angin rata-rata dengan Rpm dengan beban pada variasi jumlah sudu**

### Putaran turbin angin dengan beban dan daya

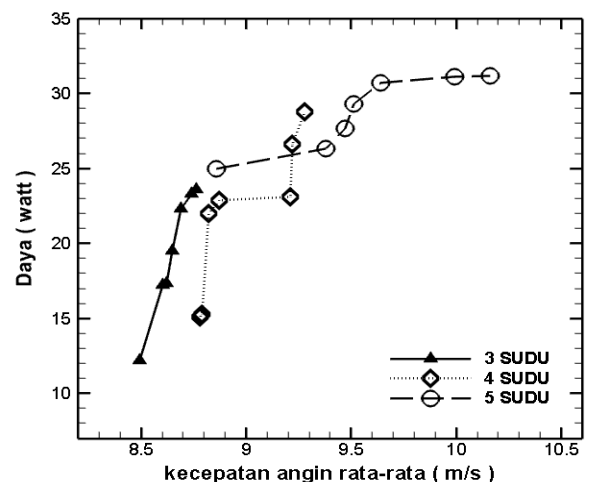
Pada gambar 25, variasi 3 sudu dengan beban, putaran turbin 307,9 rpm menghasilkan daya 12,2 watt, dan pada putaran 415,7 rpm menghasilkan daya 23,6 watt. Pada variasi 4 sudu, saat putaran turbin 422,5 rpm menghasilkan daya 15,1 watt, dan pada saat putaran turbin 664,3 rpm menghasilkan daya 28,8 watt, pada variasi 5 sudu putaran turbin 522,4 rpm menghasilkan daya 25 watt, dan saat putaran turbin 1090,7 rpm menghasilkan daya sebesar 31,2 watt.

Dari putaran 415,7 rpm – 498 rpm pada variasi 3 dan 4 sudu, ternyata variasi 3 sudu lebih unggul, karena dengan rpm yang rendah menghasilkan daya yang lebih tinggi, yaitu sebesar 23,6 watt.



**Gambar 25. Rpm turbin dengan beban dan daya pada variasi jumlah sudu**

### Kecepatan angin dengan daya



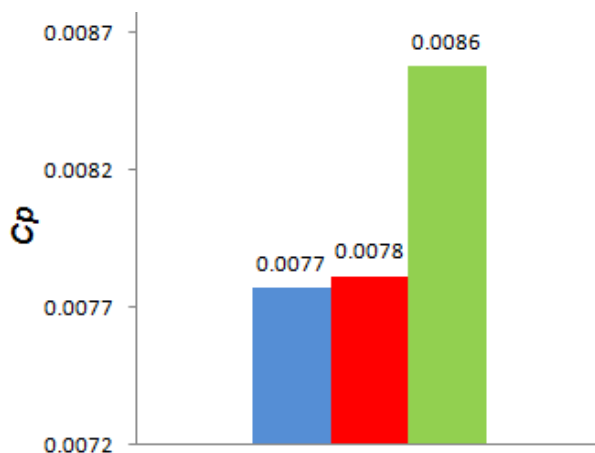
**Gambar 26. Kecepatan angin rata-rata dengan daya pada variasi jumlah sudu**

Pada gambar 26, variasi 3 sudu, kecepatan angin rata-rata 8,49 m/s, menghasilkan daya 12,2 watt dan saat kecepatan angin rata-rata 8,76 m/s, menghasilkan daya sebesar 23,6 watt. Pada variasi 4 sudu, kecepatan angin rata-rata 8,78 m/s, menghasilkan daya 15,1 watt dan saat kecepatan angin rata-rata 9,28 m/s, menghasilkan daya 28,8 watt, dan pada variasi 5 sudu kecepatan angin rata-rata 8,86 m/s, menghasilkan daya 25 watt, dan saat kecepatan angin

rata-rata 10,16 m/s, menghasilkan daya sebesar 31,2 watt.

Dari kecepatan angin 8,49 m/s – 8,87 m/s, pada variasi 3, 4, dan 5 sudu, ternyata variasi 5 sudu lebih unggul, karena dengan kecepatan angin yang rendah menghasilkan daya yang lebih tinggi dari variasi 3 dan 4 sudu, yaitu sebesar 25 watt.

#### Koefisien daya rata-rata pada variasi jumlah sudu



**Gambar 27. Koefisien daya pada variasi jumlah sudu**

Pada gambar 27, Koefisien daya rata-rata yang dihasilkan oleh turbin angin dengan variasi 3 sudu, yaitu 0,0077, kemudian meningkat pada variasi 4 sudu yang menghasilkan 0,0078, dan pada variasi 5 sudu meningkat signifikan menghasilkan 0,0086, Koefisien daya akan meningkat seiring dengan penambahan jumlah sudu.

## KESIMPULAN

1. Turbin angin telah berhasil dibuat dan dilakukan pengujian. Dari pengujian tanpa beban, dan dengan beban menunjukkan bahwa kecepatan angin mempengaruhi putaran turbin angin, semakin tinggi kecepatan angin semakin tinggi putaran turbin angin.
2. Pengujian tanpa beban dengan variasi 3 sudu menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi 4 dan 5 sudu. Sementara, pengujian dengan beban pada variasi 5 sudu menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan pada variasi yang lainnya.
3. Koefisien daya dipengaruhi kecepatan angin masuk dan keluar turbin angin, semakin besar nilai Koefisien daya maka semakin banyak angin yang terekstrak pada turbin angin. Dari konstruksi turbin angin variasi 5 sudu menghasilkan koefisien daya yang tinggi, hingga mencapai dua kali dari variasi 3 dan 4 sudu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Freris. L. L., 1990, *Wind energy conversion systems*, reader in power system, electrical engineering department, imperial college of science, technology and medicine, U. K.
- Gipe, Paul., 2009, *Wind energy basics : a guide to home and community scale wind energy systems*, chealsea green publishing, United States of Amerika.
- Irawan, F., 2009, *Perancangan dan pembuatan turbin angin aksial sumbu horizontal dua sudu dengan diameter 3,5 meter*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.



- Lungan, F., 2008, *Perancangan dan pembuatan turbin angin sumbu horizontal 3 Sudu berdiameter 3,5 meter dengan modifikasi pemotongan dan pengaturan sudut pitch*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Ozgener, O., 2005, *A review of blade structures of swtss in the aegean region and performance analysis*, solar energy Institute of Ege University, Turkey.
- Silalahi, Yosef.J.K, dan Kurniawan, Iwan, 2014, *Analisis efisiensi jumlah blade pada prototype turbin angin venturi*, Universitas Riau, Riau
- Sudarsono, 2013, *optimasi rancangan kincir angin modifikasi standar NACA 4415 menggunakan serat rami (boehmeria nivea), core kayu sengon laut (albazia falcata) yang berkelanjutan*, Universitas Diponegoro, Semarang.